

Biological Sciences, University of Tsukuba, Japan, 1992. P. 39–53.

4. Ладыгина-Котс Н. Н. Развитие психики в процессе эволюции организмов. М.: Советская наука, 1958.

5. Захаров И. С., Голядкин С. В. Перспективы применения термотаксиса микроорганизмов как тест-реакции для биотестовых систем // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2008. № 9. С. 54–59.

6. Malvin G. M., Cecava N., Nelin L. D. Nitric Oxide Production and Thermoregulation in *Paramecium caudatum* // Intern. J. on Protistology. 2003. № 42. P. 259–267.

7. Gordon C. J. Temperature and toxicology: an integrative, comparative, and environmental approach. CRC Press, 2005. 289 P.

8. Tawada K., Oosawa F., Responses of *Paramecium* to temperature change // Protozoo. 1972. № 19. P. 53–57.

9. Tawada K., Miyamoto H. Sensitivity of *Paramecium* Thermotaxis to Temperature Change // Protozoo. 1973. № 20. P. 289–292.

A. N. Velichko

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

ANALYSIS OF THE REACTION RESULTS OF THE STUDY THERMOTAXIS *PARAMECIUM CAUDATUM*

*Deals with the effect of temperature on the motor activity of ciliates *Paramecium caudatum* under heavy and slow her change. It is shown that infuory slurry accumulates in temperatures close to the temperature of the cell culture and membrane hyperpolarization increases directional navigation speed. Thus, at extremely high and low temperatures, ciliates thermoregulation mechanisms may be different from those that are present at physiological temperatures. Conducted a literature review revealed the scientific studies that have been studied thermotaxis impact on the effect of hypoxia, which led to the movement of ciliates population to low temperatures.*

Thermotaxis, aqueous medium, *Paramecium caudatum*, bioassay

К 20-летию кафедры ИЗОС

УДК 535.247.4

С. С. Гринь, М. А. Турубанов, Т. В. Кустов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Расчет характеристик и оптическая схема источника излучения для биотестового прибора

Описана разработка оптической схемы источника излучения измерительной системы для контроля биотестовых реакций. Проведен сравнительный анализ трех основных оптических схем, которые применяются в фотометрических системах. В работе также приведено обоснование выбора одной из оптических схем, позволяющей получить максимально возможный параллельный световой пучок, учитывая предполагаемые габариты измерительной системы, а также получения на выходе кюветы максимальной четкой контрастной картины.

Угол дифракционного рассеяния вперед, инфузории, апертурный угол расходимости пучка, оптическая схема

Основным критерием выбора оптической схемы источника излучения является получение параллельного пучка с минимальным апертурным углом расходимости. Он должен быть меньше угла дифракционного рассеяния вперед микроорганизмами в исследуемой пробе или равен ему (рис. 1) [2].

На рис. 1 показано дифракционное рассеяние вперед одним микроорганизмом: α_0 – угол рассе-

яния; b – диаметр клетки. Согласно теории Густава Ми, угол дифракционного рассеяния частицами с размерами, большими длины волны, определяется выражением

$$\alpha_0 = \frac{\lambda}{b},$$

где λ – длина волны падающего излучения.

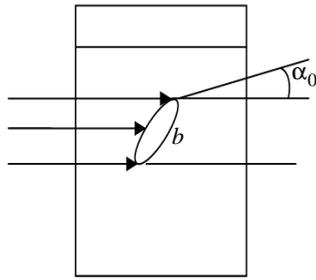


Рис. 1

Минимальный диаметр инфузорий составляет 0.2 мм. Таким образом, угол дифракционного рассеяния будет составлять

$$\alpha_0 = \frac{\lambda}{b} = \frac{0.45}{0.2} \cdot 10^{-3} \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ рад,}$$

т. е. апертурный угол расхождения светового пучка α_1 не должен превышать 0.002 рад [1].

Еще одним критерием выбора оптической схемы служат габаритные размеры разрабатываемого макета. Согласно техническому заданию они должны составлять 180 × 110 мм. При этом оптическая часть системы должна иметь размеры 85 × 110 мм. На рис. 2 приведено схематическое изображение расположения основных блоков измерительной системы с учетом приведенных габаритов.



Рис. 2

Для изучения оптических характеристик тест-объектов планируется использовать трехволновой источник излучения в диапазоне работы от 450 до 630 нм, где диаметр излучающей площадки составляет 1 мм.

Существует три основные схемы формирования параллельного светового пучка:

1. Использование короткофокусной линзы с диафрагмированным источником.
2. Использование композиционного объектива.
3. Использование длиннофокусной линзы с системой зеркал.

На рис. 3 приведена оптическая схема с использованием короткофокусной линзы и диафрагмированного источника.

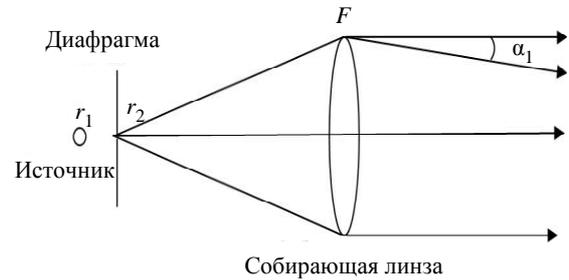


Рис. 3

Апертурный угол расхождения светового пучка α_1 определяется следующим выражением:

$$\alpha_1 = \frac{r}{F},$$

где F – фокусное расстояние линзы; r – радиус источника излучения.

Радиус излучающей поверхности светодиода $r_1 = 0.5$ мм. Тогда минимальное фокусное расстояние, которым должна обладать линза, определяется по значению дифракционного угла рассеяния α_0 :

$$F = \frac{r_1}{\alpha_0} = \frac{0.5}{0.2} \cdot 10^3 = 250 \text{ мм.}$$

Из расчетов видно, что для получения параллельного пучка необходима линза с фокусным расстоянием 250 мм, что выходит за пределы габаритных размеров, отведенных для расположения оптических элементов.

Для решения данной проблемы необходимо применение короткофокусной линзы, а также диафрагмирование источника излучения. Оптимальным будет использование линзы с фокусным расстоянием $F = 75$ мм. Тогда для данного угла расходимости светового пучка радиус диафрагмы r_2 будет составлять ~ 0.2 мм.

Данная схема, несмотря на простоту реализации, имеет ряд недостатков:

1. Высокое влияние aberrаций на параллельность пучка из-за использования короткофокусной линзы.
2. Проблема максимально близкого расположения диафрагмы к источнику для исключения влияния шумовых засветок.
3. Труднодоступность и высокая стоимость качественных короткофокусных линз нужных размеров.

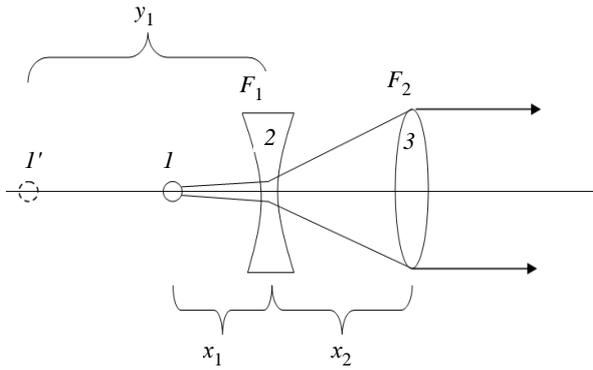


Рис. 4

4. Сложность изготовления диафрагмы нужного радиуса.

Другой способ формирования параллельного пучка для исключения вышеприведенных недостатков представляет использование композиционного или телескопического объектива, содержащего длиннофокусную собирающую линзу, а также рассеивающую линзу для возможности соблюдения нужного расстояния от источника до второй линзы (рис. 4) [2].

На рис. 4 показана оптическая схема такой системы. Имеется длиннофокусная линза 3 с фокусным расстоянием F_2 , а также рассеивающая линза 2 с фокусом F_1 и светоизлучающий диод 1 с радиусом излучающей площадки $r = 0.5$ мм.

Как видно из оптической схемы, если не использовать рассеивающую линзу 2, то источник излучения должен находиться на расстоянии 250 мм от линзы 3, что превышает известные габариты макета прибора [4].

Для решения данной проблемы необходимо определить фокусное расстояние F_1 линзы 2. Пусть $x_1 = x_2 = x$, где x_1 – расстояние от источника 1 до линзы 2, x_2 – расстояние между линзами 2 и 3. Так как фокусное расстояние линзы 3 составляет 250 мм, то, как видно из схемы, $F_2 = y + x_2 = 250$ мм, где y – расстояние от центра линзы 2 до воображаемого источника I' . По формуле Ньютона для тонкой рассеивающей линзы имеем:

$$-\frac{1}{F_1} = \frac{1}{x_1} + \frac{1}{y} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y},$$

тогда

$$y = -\frac{x F_1}{x + F_1},$$

и, следовательно,

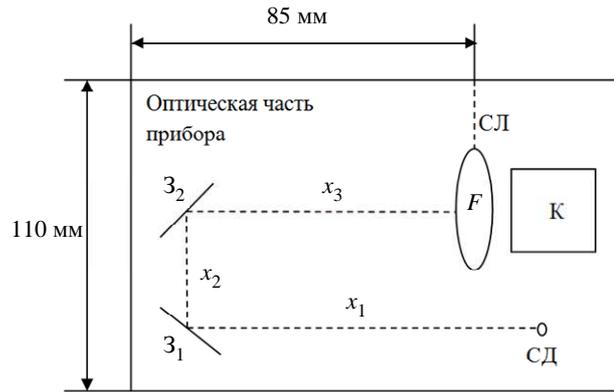


Рис. 5

$$F_2 = y + x = -\frac{x F_1}{x + F_1} + x = 250 \text{ мм.}$$

Необходимо учитывать максимальное ограничение расстояния от источника 1 до линзы 3, равное 85 мм. Оптимальное значение, определенное опытным путем с учетом предполагаемых габаритных размеров оптической части прибора (85 × 110 мм) составляет 75 мм. Тогда $x_1 + x_2 = 75$ мм, а $x_1 = x_2 = 37.5$ мм. Тогда фокус F_1 будет определяться как

$$-x F_1 + x(x + F) = 250(x + F_1);$$

$$F_1 = \frac{x^2 - 250x}{250} = \frac{37.5^2 - 250 \cdot 37.5}{250} = -32 \text{ мм.}$$

Таким образом, при правильном подборе линз появляется возможность свернуть фокусное расстояние линзы с 250 до 75 мм, что соответствует заданным габаритным размерам оптической части прибора.

Тем не менее данная схема имеет ряд недостатков, которые не позволяют ее применить в разрабатываемой измерительной системе:

1. Чувствительность оптической системы к эксплуатационным перемещениям вдоль оптической оси, вследствие чего необходимо изготовление жесткого каркаса для фиксации оптической системы на заданных расстояниях.

2. Зависимость оптических свойств линз от внешней температуры. Таким образом, при воздействии внешней температуры на оптическую систему происходит смещение фокусных расстояний всех линз, а, как видно из расчетов, малое изменение фокусного расстояния линзы 2 приведет к значительному изменению апертурного угла расхождения светового потока.

3. Сложность изготовления такой системы с учетом вышеприведенных недостатков.

Имеется также третий вариант оптической схемы для источника излучения. Он изображен на рис. 5 (вид сверху) [3].

Данная схема содержит длиннофокусную собирающую линзу СЛ с фокусным расстоянием $F = 250$ мм и два зеркала, которые перенаправляют световой поток со светодиода СД на линзу, формирующую параллельный пучок на кювету с пробой К.

Как видно из схемы, фокусное расстояние линзы определяется следующим образом:

$$F = x_1 + x_2 + x_3 = 250 \text{ мм},$$

где x_1 – расстояние от светодиода до зеркала Z_1 ; x_2 – расстояние между зеркалами Z_1 и Z_2 ; x_3 – расстояние между зеркалом Z_2 и собирающей линзой СЛ. Экспериментально было установлено, что оптимальные значения данных параметров должны быть следующими: $x_1 = 125$ мм, $x_2 = 35$ мм, $x_3 = 90$ мм.

Несмотря на увеличенное количество оптических элементов данная схема обладает следующими преимуществами:

1. Возможность использования длиннофокусной линзы, что минимизирует воздействие оптических aberrаций на параллельность светового пучка.

2. Угол расхождения параллельных световых пучков не будет превышать дифракционного угла рассеяния на клетках, что позволяет на выходе кюветы получить четкую контрастную картину.

3. Минимальная чувствительность оптических элементов к эксплуатационным перемещениям, а также к температурному дрейфу фокуса линзы.

4. Простота реализации самой схемы.

5. Широкая распространенность и доступность оптических элементов.

Таким образом, в ходе исследований был проведен сравнительный анализ основных оптических схем формирования параллельного светового потока. На основании вышеприведенных расчетов было определено, что наиболее подходящей является третья схема. В дальнейшем планируется изготовить и апробировать разрабатываемый макет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хвостиков Н. А. Теория рассеяния света и ее применение к вопросам прозрачности атмосферы и туманов. М.: Изд-во УФН, 1940. 225 с.
2. Гван де Хюлст. Рассеяние света малыми частицами. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 520 с.
3. Кравцов Ю. А., Орлов Ю. И. Границы применимости метода геометрической оптики и смежные вопросы. М.: Изд-во УФН, 1980. 496 с.
4. Кравцов Ю. А., Рытов С. М., Татарский В. И. Статистические проблемы в теории дифракции. М.: Изд-во УФН, 1975. 262 с.
5. Аракелян С. М., Ляхов Г. А., Чилингарян Ю. С. Нелинейная оптика жидких кристаллов. М.: Изд-во УФН, 1975. 262 с.

S. S. Grin, M. A. Turubanov, T. V. Kustov
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

CALCULATION OF MAIN CHARACTERISTICS AND LIGHT SOURCE OPTICAL SCHEME FOR THE BIOTESTING DEVICE

Is about of development the light source optical circuit of measuring system for biotesting reactions monitoring. The article contains a comparative analysis of the three main optical systems, which are used in photometric systems. The paper also shows the substantiation of the choice of one of the optical systems, which allow to get the best possible parallel light beam, given the estimated size of meter system and obtain the maximum output of the cell clear contrast of the picture.

Diffraction angle forward scattering, ciliates, the aperture angle of the beam divergence, optical scheme